

CONTROL METHOD AND DEVICE OF MOTOR, AND SCREW FASTENING METHOD AND DEVICE

Patent Number: JP10328952

Publication date: 1998-12-15

Inventor(s): SASAKI TOSHIHIKO

Applicant(s): WAKO GIKEN:KK

Requested Patent: JP10328952

Application Number: JP19970144179 19970602

Priority Number(s):

IPC Classification: B23P19/06; B25B23/14; B25B23/14; H02P21/00

EC Classification:

Equivalents: JP3062655B2

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To accelerate and decelerate a motor for a short time, and to control the operation of the motor without applying the excess load torque to an object to be controlled, by respectively controlling a speed control accuracy and a torque control accuracy while clearly discriminating the same.

SOLUTION: An operation pattern generating part 50 for storing an operation pattern of a motor 6, and generating the same, is installed. A speed command ω^* is output to a speed control part 60 from the operation pattern generating part 50. A torque command T_r^* is output to a torque control part 100. The d? axis current commands i_d^* and i_q^* respectively output from a speed control part 60 or the torque control part 100, are switched and selected by a switch means 78 to be input to a current control part 80, to be made incoherent, and then are converted from the dq axis coordinate to the u, v, w coordinates, so that a PWM inverter 18 is driven through a driver 92, to control a PM motor 6.

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-328952

(43) 公開日 平成10年(1998)12月15日

(51) Int.Cl.⁶
B 23 P 19/06
B 25 B 23/14
H 02 P 21/00

識別記号
6 2 0
6 4 0

F I
B 23 P 19/06
B 25 B 23/14
H 02 P 5/408

P
6 2 0 F
6 4 0 F
C

審査請求 有 請求項の数64 OL (全24頁)

(21) 出願番号 特願平9-144179

(22) 出願日 平成9年(1997)6月2日

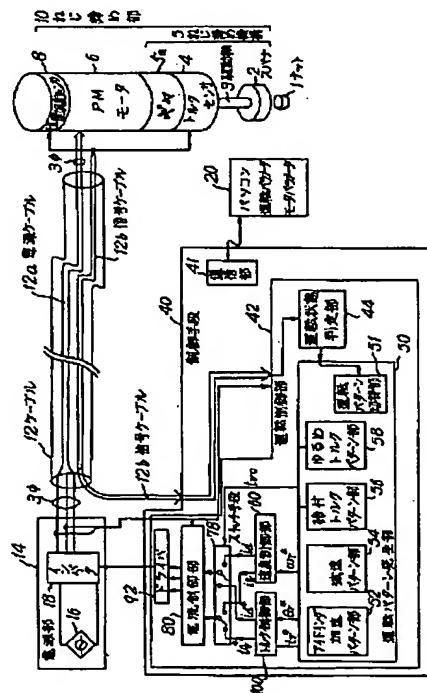
(71) 出願人 594090724
株式会社ワコ一技研
横浜市鶴見区鶴見中央3丁目27-2
(72) 発明者 佐々木 俊彦
横浜市鶴見区鶴見中央3-27-2 株式会
社ワコ一技研内
(74) 代理人 弁理士 安形 雄三 (外1名)

(54) 【発明の名称】 モータの制御方法及び装置並びにねじ締め方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】 小型軽量かつ安全でトルク絶対値及びトルク精度の管理可能なねじ締め方法及び装置を提供する。

【解決手段】 ねじ締め機構と、当該ねじ締め機構を駆動するモータと、当該モータの駆動用電源部と、当該モータの動作制御を行う制御手段とを具えたねじ締め装置において、前記モータは永久磁石式同期モータであり、前記制御手段内に前記モータの速度制御部と、トルク制御部とを設け、等価弱め界磁制御により、モータの速度制御範囲を拡大すると共に、速度精度優先制御及び/又はトルク精度優先制御をそれぞれ独立して実行することによって上記課題は達成される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 永久磁石式同期モータの制御装置において、当該モータの速度制御部内に等価弱め界磁制御部を設け、当該モータの速度制御範囲を拡大すると共に、前記速度制御部とは独立して動作するトルク制御部を設け、当該モータの速度制御精度とトルク制御精度とをそれぞれ独立して維持し実行するようにしたことを特徴とする永久磁石式同期モータの制御装置。

【請求項2】 永久磁石式同期モータの制御装置において、当該モータの速度制御部内に等価弱め界磁制御部及びトルク制御部を設け、当該モータの速度制御精度とトルク制御精度とをそれぞれ独立して維持し実行するようにしたことを特徴とする永久磁石式同期モータの制御装置。

【請求項3】 前記速度制御部内に設けられたトルク制御部では、d軸電流指令の大きさは0とし、q軸電流指令の大きさを制御してトルク制御を実行するようにした請求項2に記載の永久磁石式同期モータの制御装置。

【請求項4】 前記トルク制御部では、前記永久磁石の経時変化及び／又は温度変化に対するトルク補正を行うためのトルク補正演算部を内蔵した請求項1乃至3のいずれか1項に記載の永久磁石式同期モータの制御装置。

【請求項5】 前期トルク制御部に、外部に設けられたトルクセンサを内蔵したトルク校正装置と結合して、トルク補正係数を自動更新するトルク補正係数自動決定部を内蔵した請求項1乃至4のいずれか1項に記載の永久磁石式同期モータの制御装置。

【請求項6】 前記速度制御部及びトルク制御部に結合され、所望の運転パターンを記憶すると共に生成する運転パターン発生部を設け、この運転パターン発生部から速度指令及びトルク指令をそれぞれ独立して前記速度制御部及びトルク制御部に出力し、当該モータの運転速度及びトルクをそれぞれ独立して制御するようにしたことを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の永久磁石式同期モータの制御装置。

【請求項7】 前記モータ及び運転パターン発生部に結合された当該モータの運転状態判定部を設け、前記モータの運転状態に変化が検出された場合、前記モータの運転パターンを自動的に切替えるようにした請求項7に記載の永久磁石式同期モータの制御装置。

【請求項8】 前記等価弱め界磁制御部には、d軸電流指令演算部又は磁気飽和補正部に結合されたd軸電流指令演算部を含む請求項1乃至7のいずれか1項に記載の永久磁石式同期モータの制御装置。

【請求項9】 前記運転状態判定部では、前記モータの回転速度の変化及び／又は電機子電流の変化、及び／又は前記モータの出力軸に結合したトルクセンサの出力変化に応答して当該モータの運転状態変化を検知するようにした請求項7に記載の永久磁石式同期モータの制御装置。

【請求項10】 前記モータを駆動するインバータ供給電源が、バッテリー及び／又は電圧50V以下の電源である請求項1乃至9のいずれか1項に記載の永久磁石式同期モータの制御装置。

【請求項11】 前記速度制御部及びトルク制御部をデジタルシグナルプロセッサー(DSP)で構成するようにした請求項1乃至10のいずれか1項に記載の永久磁石式同期モータの制御装置。

【請求項12】 前記永久磁石式ロータの表面に磁性リングを設け、少ないd軸電流で大きな弱め界磁を実現した請求項1乃至11のいずれか1項に記載の永久磁石式同期モータの制御装置。

【請求項13】 前記等価弱め界磁制御部により高速回転制御中は、当該モータの永久磁石の界磁を30%以上見かけ上減磁させた請求項1乃至12のいずれか1項に記載の永久磁石式同期モータの制御装置。

【請求項14】 モータの制御方法であって、当該モータの速度を優先して制御するか、当該モータのトルクを優先して制御するか判定するステップと、速度優先制御の場合には前記モータの速度制御部によりトルク制御より速度制御を優先して実行するステップと、トルク優先制御の場合には、前記モータのトルク制御部により速度制御よりトルク制御を優先して実行するステップとを含むモータの制御方法。

【請求項15】 前記速度制御部が前記トルク制御部を兼ねている請求項14に記載のモータの制御方法。

【請求項16】 前記速度優先制御のステップでは、当該モータの界磁を制御して速度制御範囲を拡大するようにした請求項14又は15に記載のモータの制御方法。

【請求項17】 前記トルク優先制御のステップでは、モータの出力トルクを校正するためのトルク校正ステップを含む請求項14乃至16のいずれか1項に記載のモータの制御方法。

【請求項18】 前記モータの所望の運転パターンを登録すると共に出力する運転パターン生成ステップを更に含む請求項14乃至17のいずれか1項に記載のモータの制御方法。

【請求項19】 前記モータの運転パターン情報に速度指令情報、トルク指令情報及び／又は速度／トルク優先制御項目情報を含む請求項18に記載のモータの制御方法。

【請求項20】 前記モータの運転状態を監視する運転状態判定ステップを更に含む請求項14乃至19のいずれか1項に記載のモータの制御方法。

【請求項21】 前記運転状態判定ステップでは、前記モータの回転速度の変化、及び／又は電機子電流の変化、及び／又は前記モータの出力軸に結合したトルクセンサの出力変化に応答して、当該モータの運転状態変化を検知すると共に、前記モータの運転パターンを自動的に切替えるようにした請求項20に記載のモータの制御

方法。

【請求項22】 前記モータが永久磁石式同期モータである請求項14乃至21のいずれか1項に記載のモータの制御方法。

【請求項23】 前記モータの供給電源がバッテリー及び／又は電圧50V以下の電源である請求項14乃至22のいずれか1項に記載のモータの制御方法。

【請求項24】 前記速度優先制御のステップでは、d軸電流指令を制御して等価弱め界磁制御により速度制御範囲を拡大するようにした請求項16乃至23のいずれか1項に記載のモータの制御方法。

【請求項25】 前記トルク優先制御のステップでは、d、q軸電流指令を制御してトルク制御範囲を拡大するようにした請求項17乃至24のいずれか1項に記載のモータの制御方法。

【請求項26】 ねじ締め機構と、当該ねじ締め機構を駆動するモータと、当該モータの駆動用電源部と、当該モータの動作制御を行う制御手段とを具えたねじ締め装置において、前記モータは永久磁石式同期モータであり、前記制御手段内に前記モータの速度制御部と、トルク制御部とを設け、速度精度優先制御及び／又はトルク精度優先制御をそれぞれ独立して実行するようにしたことを特徴とするねじ締め装置。

【請求項27】 前記速度制御部が前記トルク制御部を兼ねると共に、速度精度優先制御又はトルク精度優先制御をそれぞれ独立して実行するようになっている請求項26に記載のねじ締め装置。

【請求項28】 前記速度制御部において速度優先制御を行う場合、等価弱め界磁制御部を設け、当該モータの速度制御範囲を拡大するようにした請求項26又は27に記載のねじ締め装置。

【請求項29】 前記トルク制御部においてトルク優先制御を行う場合、前記永久磁石の経時変化及び／又は温度変化に対するトルク補正を行うためのトルク補正演算部を記載した請求項26乃至28のいずれか1項に記載のねじ締め装置。

【請求項30】 前記トルク制御部に外部に設けられたトルクセンサを内蔵したトルク校正装置と結合してトルク補正係数を自動更新するトルク補正係数自動決定部を内蔵した請求項26乃至29のいずれか1項に記載のねじ締め装置。

【請求項31】 前記速度制御部及びトルク制御部に結合され、所望の運転パターンを記憶すると共に生成する運転パターン発生部を設け、この運転パターン発生部から優先制御項目指令、速度指令及びトルク指令を出力し、当該モータの運転速度及びトルクを優先順位を付けてそれぞれ独立に制御するようにしたことを特徴とする請求項26乃至30のいずれか1項に記載のねじ締め装置。

【請求項32】 前記運転パターン発生部では、減速運

転パターンから全ての減速期間において、所定のトルク指令値以内のトルク指令値しか出力しない運転パターンである請求項31に記載のねじ締め装置。

【請求項33】 前記モータ及び運転パタン発生部に結合された当該モータの運転状態判定部を設け、前記モータの運転状態に変化が検出された場合、前記モータの運転パターンを自動的に切替えるようにした請求項31又は32に記載のねじ締め装置。

【請求項34】 前記等価弱め界磁制御部には、d軸電流指令演算部又は磁気飽和補正部に結合されたd軸電流指令演算部を含む請求項28乃至33のいずれか1項に記載のねじ締め装置。

【請求項35】 前記運転状態判定部では、前記モータの回転速度の変化及び／又は電機子電流の変化及び／又は前記モータの出力軸に結合したトルクセンサの出力変化に応答して当該モータの運転状態変化を検知するようにした請求項33に記載のねじ締め装置。

【請求項36】 前記モータの供給電源がバッテリー及び／又は電圧50V以下の電源である請求項26乃至35のいずれか1項に記載のねじ締め装置。

【請求項37】 前記速度制御部及び／又はトルク制御部をデジタルシグナルプロセッサで構成するようにした請求項26乃至36のいずれか1項に記載のねじ締め装置。

【請求項38】 前記永久磁石の材料がSm-Co又はNd-Fe-Bで構成されている請求項26乃至37のいずれか1項に記載のねじ締め装置。

【請求項39】 前記永久磁石式ロータの表面に磁性リングを設け、少ないd軸電流で大きな界磁変化を実現した請求項26乃至38のいずれか1項に記載のねじ締め装置。

【請求項40】 前記等価弱め界磁制御部により、当該モータの永久磁石の界磁を見かけ上30%以上減磁させた請求項28乃至39のいずれか1項に記載のねじ締め装置。

【請求項41】 前記ねじ締め装置が手で持って操作可能な重量である請求項26乃至40のいずれか1項に記載のねじ締め装置。

【請求項42】 前記ねじ締め装置の位置及び速度及び／又は温度検出にレゾルバを使用した請求項26乃至41のいずれか1項に記載のねじ締め装置。

【請求項43】 ねじ締め機構と、当該ねじ締め機構を駆動するモータと、当該モータの駆動用電源部と、当該モータの動作制御を行う制御手段とを具えたねじ締め装置のねじ締め方法であって、前記制御手段において前記モータの速度を優先して制御するか、前記モータのトルクを優先して制御するか判定するステップと、速度優先制御の場合には前記モータの速度制御部によりトルク制御より速度制御を優先して実行するステップと、トルク優先制御の場合には、前記モータのトルク制御部により

速度制御よりトルク制御を優先して実行するステップとを含むねじ締め方法。

【請求項4 4】 前記速度制御部が前記トルク制御部を兼ねている請求項4 3に記載のねじ締め方法。

【請求項4 5】 前記速度優先制御のステップでは当該モータの界磁を制御して速度制御範囲を拡大するようにした請求項4 3又は4 4に記載のねじ締め方法。

【請求項4 6】 前記トルク優先制御のステップでは当該モータの出力トルクを校正するためのトルク校正ステップを更に含む請求項4 3又は4 4に記載のねじ締め方法。

【請求項4 7】 前記モータの所望の運転パターンを登録すると共に出力する運転パターン生成ステップを更に含む請求項4 3乃至4 6のいずれか1項に記載のねじ締め方法。

【請求項4 8】 前記モータの運転パターン情報に優先制御項目情報、速度指令情報、トルク指令情報を含む請求項4 7に記載のねじ締め方法。

【請求項4 9】 前記運転パターンとして、速度優先制御の全ての減速期間において、所定のトルク指令値以内のトルク指令値しか出力しない減速運転パターンを含む請求項4 7又は4 8に記載のねじ締め方法。

【請求項5 0】 前記トルク優先制御ステップにおいて、トルク法又は、トルク勾配法又はナット回転角法に基づいて出力されるトルク指令情報に応答してねじ締め作業を行うようにした請求項4 3乃至4 9のいずれか1項に記載のねじ締め方法。

【請求項5 1】 前記モータの運転状態を監視する運転状態判定ステップを更に含む請求項4 3乃至5 0のいずれか1項に記載のねじ締め方法。

【請求項5 2】 前記運転状態判定ステップでは、前記モータの回転速度の変化、及び／又は電機子電流の変化、及び／又は前記モータの出力軸に結合したトルクセンサの出力変化に応答して当該モータの運転状態変化を検知すると共に、前記モータの運転パターンを自動的に切替えるようにした請求項5 1に記載のねじ締め方法。

【請求項5 3】 前記モータが永久磁石式同期モータである請求項4 3乃至5 2のいずれか1項に記載のねじ締め方法。

【請求項5 4】 前記トルク優先制御のステップでは、永久磁石の経時変化及び／又は温度変化を補正するためのトルク補正演算ステップを更に含む請求項5 1に記載のねじ締め方法。

【請求項5 5】 前記モータの供給電源がバッテリー及び／又は50V以下の電源である請求項4 3乃至5 4のいずれか1項に記載のねじ締め方法。

【請求項5 6】 前記速度優先制御のステップでは、d軸電流指令に基づいた等価弱め界磁制御により速度制御範囲を拡大するようにした請求項5 3乃至5 5のいずれか1項に記載のねじ締め方法。

【請求項5 7】 前記トルク優先制御のステップでは、外部に設けられたトルク校正装置と結合してトルク補正係数を自動更新するトルク補正係数自動更新ステップを含む請求項5 0乃至5 6のいずれか1項に記載のねじ締め方法。

【請求項5 8】 前記速度制御部及び／又はトルク制御部をデジタルシグナルプロセッサで構成するようにした請求項4 3乃至5 7のいずれか1項に記載のねじ締め方法。

【請求項5 9】 前記永久磁石の材料がSm-Ce又はNd-Fe-Bで構成されている請求項5 3乃至5 8のいずれか1項に記載のねじ締め方法。

【請求項5 0】 前記永久磁石式ロータの表面に磁性リングを設け、少ないd軸電流で大きな界磁変化を実現した請求項5 3乃至5 9のいずれか1項に記載のねじ締め方法。

【請求項5 1】 前記等価弱め界磁制御部により、当該モータの永久磁石の界磁を見かけ上30%以上減磁させた請求項5 6乃至6 0のいずれか1項に記載のねじ締め方法。

【請求項5 2】 前記ねじ締め装置が手で持って操作可能な重量である請求項4 3乃至6 1のいずれか1項に記載のねじ締め方法。

【請求項5 3】 前記ねじ締め装置の位置及び速度及び／又は温度検出にレゾルバを使用した請求項4 3乃至6 2のいずれか1項に記載のねじ締め方法。

【請求項5 4】 前記モータの供給電源がバッテリー及び／又は電圧50V以下の電源である請求項4 3乃至6 3のいずれか1項に記載のねじ締め方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、モータの速度制御とトルク制御とを、それぞれ独立して優先順位を付けて実行するようにしたモータの制御方法及び装置に関する。またこの発明は、ねじ（ボルト、ナット）の締結（締め付け作業及びゆるめ作業をも含む）に使用するねじ締め方法及び装置にも関し、特に、永久磁石式同期モータを利用した小型軽量かつ安全でトルク絶対値及び精度の管理可能なねじ締め方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、モータはモータの発生する速度及び／又はトルクを利用して産業界に広く用いられている。また、デジタル技術の進歩により電流ベクトル制御が可能になり、速度及びトルクをそれぞれ望む値に制御する技術も知られて来た。ここで、永久磁石式同期モータ（以下、「PMモータ」と呼ぶ）の制御方法を復習すると、d-q軸座標で表したPMモータの電圧方程式及びトルクは次式で与えられる。

【数1】

$$\begin{bmatrix} v_d \\ v_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R + pLd & -\omega Lq \\ \omega Ld & R + pLq \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega \Psi_a \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

【数2】

$$T = P_n \cdot \Psi_a \cdot i_q + P_n (Ld - Lq) i_d \cdot i_q \quad \dots (2)$$

但し、 i_d 、 i_q は電機子電流のd、q軸成分、 v_d 、 v_q は電機子電圧のd、q軸成分、 $\Psi_a = \sqrt{3}/2 \cdot \Psi_f$ で Ψ_f は永久磁石による電機子鎮交磁束の最大値、Rは電機子抵抗、 L_d 、 L_q はd、q軸インダクタンス、 $p = d/dt$ 、 P_n ：極対数である。また、インバータ

$$I_a = \sqrt{(i_d^2 + i_q^2)} = \sqrt{3} I_e \leq I_{amc} \text{ 又は } I_{ami} \dots (3)$$

【数4】

$$V_a = \sqrt{(v_d^2 + v_q^2)} = V_t \leq V_{am} \quad \dots (4)$$

但し、 I_e は相電流の実効値であり、 V_t は線間電圧の実効値である。また、 I_{amc} は連続運転状態でのモータの定格電流であり、 I_{ami} は短時間的にインバータの供給できる最大電流である。更にまた、 V_{am} はインバータの電源電圧で規定される最大供給電圧である。しかしして、PMモータを電流ベクトル制御する方法は種々

$$T = P_n \cdot \Psi_a \cdot i_q$$

となり、q軸電流指令値に比例する。また、永久磁石の経時変化及び/又は温度変化により Ψ_a が変化し、トルク絶対値が変動する第1原因である。次にPMモータが突極機の場合には、 $L_d \neq L_q$ となり、数2により生じるリラクタンストルクを有効利用することが可能とな

$$i_d = 0.5 * \Psi_a / (Lq - Ld) - \sqrt{(0.25 * \Psi_a^2 / (Lq - Ld)^2 + i_q^2)} \quad \dots (6)$$

更にまた、モータを6000~15000 rpm等の高回転領域で運転したい場合には、モータの端子電圧が速度の上昇に伴い逆起電圧 $\omega \Psi_a$ と共に増加し、数4の条件を満たすことができなくなり、物理的運転限界に至る。一般に、数4の条件のもとで速度制御範囲を拡大するには、弱め界磁制御が用いられる。一般に、永久磁石で界磁磁束を得るPMモータの場合、界磁磁束は固定さ

$$V_0 = \sqrt{(v_d 0^2 + v_q 0^2)} \leq V_{0m} \quad \dots (7)$$

但し、 $v_d 0 = -\omega Lq \cdot i_q$

$$v_q 0 = \omega \Psi_a + \omega Ld \cdot i_d$$

$$V_{0m} = V_{am} - R \cdot I_{am}$$

$$i_d = -\Psi_a / La + \sqrt{(V_{0m}^2 / \omega^2 - Lq^2 * i_q^2) / Ld} \dots (8)$$

この場合、 $V_0 = V_{0m}$ となり端子電圧は V_{am} 以下に制限され、高速運転が可能となる。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述のようなモータのベクトル制御では、ロボットに使用されるサーボモータのように電圧が制限値に達しない速度領域では、トルク一定制御や同一電流に対して発生トルクが最大となるように電流ベクトルを制御する最大トルク制御が当然の制御方法として採用され一般に議論されている

で駆動されるPMモータでは、使用できる電機子電流 I_a 及び端子電圧 V_a に物理的上限があり、ここではその制御条件を次式で表現する。

【数3】

の方法が知られている。先ず、 $i_d = 0$ 制御は、d軸電流指令値 $i_d *$ を常に0に保つ制御法で、PMモータの制御方法として最も一般的であり、この時の発生トルクは

【数5】

り、同一電流で最大のトルクを得るように電流ベクトルを制御すると効率良く、d、q軸電流の関係は次式で与えられる。

【数6】

れでいるので磁束の大きさを変えることができない。そこで、d軸電機子反作用による減磁作用を利用して空隙磁束を減少させる弱め磁束制御を行うと、弱め界磁制御と等価な効果が得られ、この効果を本発明では等価弱め界磁制御と呼ぶ。制御の簡単化のために電圧制限条件式4を次のように変換する。

【数7】

数7より等価弱め界磁制御の条件は次式のようになる。

【数8】

が、ここで議論しているトルク一定制御や最大トルク制御とはトルク制御と呼んでいるが、実際には所与のトルク条件のもとでモータの速度をいかに所望の運転パターンに近づけるかということが制御の目標となっており、トルク制御の精度より速度制御の精度を重視した、この発明で定義する速度優先制御方法が議論されているに過ぎない。すなわち、モータの使用方法には、モータの速度制御の精度を重視した使用方法と、モータの発生するトルク絶対値の大きさや精度を重視した使用方法とがあ

り、一般的にはモータのトルク精度より位置や回転速度の検出精度の方が高く容易であるので、速度優先制御方法及び装置が当然のこととして使用されていた。そして、速度優先制御の中でのトルク制御が議論されて来た。しかしながら、ねじ締め作業等にモータを使用する場合には、ねじ締め作業の品質はモータの速度制御の精度をどのように向上させても改善できず、モータの生成トルクの絶対値トルク精度がねじ締め作業では決定的に重要となる。従って、モータの速度制御の精度とトルク制御の精度とを明確に区別してそれぞれ優先順位を付け、速度精度優先制御とトルク精度優先制御とを区別して各運転状態に応答して適宜切替えて制御していく方法及び装置は一般に知られていなかった。より具体的に説明すると、一般に、ねじ締め装置においては、ボルト／ナットが着座するまでは高速回転（低トルク）が必要であり、締付け時（ボルト／ナットが着座後）には低速回転高トルクが必要である。しかして、上述の高速回転数は通常8000～15000 rpmの速度となり、締付け時の低速度は0.1～60 rpmとなるので、0.1～15000 rpmの広い速度制御範囲において、減速器の切替えや、モータタップの切替えを行わず同一のハードウェア構成で上述の速度制御範囲をカバーできるねじ締め用モータは従来一般的ではなかった。そこで、従来はエアードリフトのねじ締め装置が使用されていたが、エアードリフトは機械的なトルクリミット機構によりトルクを調整しているので、個々のねじの間の締付けトルクのばらつきが大きく、実際の締付けトルクデータの記録を自動的に収集管理することができず、締付けトルク値の自動変更もできないといった問題点があった。また、自動車のねじ締めには、締付けトルク精度が要求されるため、近年サーボモータを使用したナットランナが使用されるようになったが、ナットが結合部に着座するまでの空回り期間中は、作業時間を短縮するため、出来る限り高速で回すことが求められる。他方で、締付けトルクを上げるため、一般的に減速機が使用される場合が多く、モータの回転数は6000～15000 rpmの高速となり、この高速回転を実現するためには高いモータ供給電圧が必要で、一般的に電源としてAC 200V動力系が使用されている。このサーボ式のナットランナを手持ちのハンドツールとして使用するには、モータケーブルがAC 200Vの動力系統に接続されているため、作業者が200Vで感電する危険があり、また減速機の並設のためハンドツールの重量が重くなり作業性が劣る等の問題点もあった。この発明は上述のような事情に鑑みてなされたものであり、この発明の目的は等価弱め界磁制御により、モータの速度制御範囲を拡大すると共に、モータのトルク制御精度と速度制御精度との間に優先順位を付け、速度制御精度を高めたい場合にはトルク精度より速度精度を重視したモータの制御を行い、トルク制御精度を高めたい場合には速度精度

よりトルク精度を重視したモータの制御が可能なモータの制御方法及び装置を提供することにある。また、この発明の目的は、永久磁石式同期モータを利用した小型軽量かつ安全でトルク絶対値及びトルク精度の管理可能なねじ締め方法及び装置を提供することにある。

【0004】

【課題を解決するための手段】この発明は永久磁石式同期モータの制御装置に関し、この発明の上記目的は、当該モータの速度制御部内に等価弱め界磁制御部を設け、当該モータの速度制御範囲を拡大すると共に、前記速度制御部とは独立して動作するトルク制御部を設け、当該モータの速度制御精度とトルク制御精度とをそれぞれ独立して維持し実行することによって達成される。また、この発明は、モータの制御方法にも関し、この発明の上記目的は当該モータの速度を優先して制御するか、当該モータのトルクを優先して制御するか判定するステップと、速度優先制御の場合には前記モータの速度制御部によりトルク制御より速度制御を優先して実行するステップと、トルク優先制御の場合には、前記モータのトルク制御部により速度制御よりトルク制御を優先して実行するステップとを含むことによっても達成される。更に、この発明は、ねじ締め機構と、当該ねじ締め機構を駆動するモータと、当該モータの駆動用電源部と、当該モータの動作制御を行う制御手段とを具えたねじ締め装置に関し、この発明の上記目的は、前記モータに永久磁石式同期モータを採用し、前記制御手段内に前記モータの速度制御部と、トルク制御部とを設け、速度精度優先制御及び／又はトルク精度優先制御をそれぞれ独立して実行することによっても達成される。更にまた、この発明は、ねじ締め機構と、当該ねじ締め機構を駆動するモータと、当該モータの駆動用電源部と、当該モータの動作制御を行う制御手段とを具えたねじ締め装置のねじ締め方法にも関し、この発明の上記目的は、前記制御手段において前記モータの速度を優先して制御するか、前記モータのトルクを優先して制御するか判定するステップと、速度優先制御の場合には前記モータの速度制御部によりトルク制御より速度制御を優先して実行するステップと、トルク優先制御の場合には、前記モータのトルク制御部により速度制御よりトルク制御を優先して実行するステップとを含むことによっても達成される。

【0005】

【発明の実施の形態】以下、この発明の好適な実施例を図面を用いて説明する。図1は、この発明のモータ制御方法及び装置を締付けトルク絶対値及びトルク精度の管理可能なねじ締め装置に用いた構成例を示したもので、ねじ締め部10はナット1を保持するスパナ2、駆動軸3及びトルクセンサ4及びギア5aで構成されたねじ締め機構5と、これを駆動するSm-CoやNd-Fe-B材で永久磁石ロータ部が構成されたPMモータ6及びエンコーダ、レゾルバ等の位置（角度）センサ8で構成

され、PMモータ6の電源は電源ケーブル12aを介して整流器16及びインバータ18で構成された電源部14に接続され、PMモータ6の制御信号等は信号ケーブル12bを介して制御手段40に接続されるようになっている。更に、制御手段40は通信部41及び運転制御部42から構成され、通信部41はRS-232Cやイーサネット等の通信回線を介してモータパラメータ、運転パラメータ等を記憶するパソコン20に接続されるようになっている。また、運転制御部42の内部には、信号ケーブル12bからのセンサ信号等を入力してモータの運転状態を監視判定する運転状態判定部44や、モータ6の運転パターンを記憶すると共に生成する運転パターン発生部50が設けられ、モータの運転パターンとしては、アイドリング加速パターン部52、着座迄の減速パターン部54、締付トルクパターン部56、ゆるめトルクパターン部58等にそれぞれモータの加減速の速度／トルクパターンや、ねじ締め／ゆるめ作業で使用する締付／ゆるめトルクパターンが記憶され、モータの運転状態の変化やトルクセンサの出力変化に応答して運転パターン切替部51によりモータの運転パターンが適宜切替えられるようになっている。しかして、運転パターン発生部50からは速度制御部60に速度指令 ω_r^* が出力され、トルク制御部100にトルク指令 t_r^* が出力され、速度制御部60又はトルク制御部100からそれぞれ出力される、d_q軸電流指令 i_d^* 及び i_q^* はスイッチ手段78で切替選択されて電流制御部80に入力され、非干渉化された後、d_q軸座標からu、v、w座標に変換され、ドライバ92を介してPWMインバータ18を駆動し、PMモータ6を制御するようになっている。

【0006】図1に対応させて示す図2はこの発明のモータ制御部の構成を更に詳細に示したブロック図であり、それぞれ同一の番号を付した装置はそれぞれ同一の機能を果たすと共に、速度制御部60には位置(角度)センサ8の出力等を演算処理してモータ6の実速度 ω_r を出力する速度検出部62が設けられ、その出力は運転制御部42から出力される速度指令 ω_r^* と共に加減算器64に入力されて速度偏差が演算され、その出力はPI補償器66及びリミッタ68によりq軸電流指令 i_q^* に変換されるようになっている。また、界磁制御部70はq軸電流指令 i_q^* 及び実速度 ω_r を入力してd軸電流指令 i_d^* を演算するd軸電流指令演算部72と、突極形PMモータの場合、q軸インダクタンスL_qの大きさを補正して界磁部の磁気飽和を補正する磁気飽和補正部74とから構成され、その出力 i_d^* はスイッチ手段78を介して電流制御部80の非干渉電流制御部86に入力されるようになっている。またトルク制御部100では、比例器102を介してモータ出力トルク t_r が演算されると共に、運転制御部42からトルク指令 t_r^* が出力され、これらが加減算器104に入力されてト

ルク偏差が演算され、PI補償器106とリミッタ108を介してq軸電流指令 i_q^* が outputされるようになっている。又、d軸電流指令 i_d^* はトルク制御部100からは $i_d^*=0$ で出力されるとする。そして、運転制御部42からスイッチ手段78に出力される選択信号 t_{vc} により速度優先制御の場合には速度制御部60の出力 i_q^* 、 i_d^* が選択され、電流制御部80に入力され、トルク優先制御の場合にはトルク制御部100の出力 i_q^* 、 i_d^* が選択されて電流制御部80に入力されるようになっている。しかして電流制御部80は、位置(角度)センサ8の出力を入力してモータ6の現在位置 θ を演算する位置(電気角)検出部82と、その出力 θ 及びu、v相電流を入力してd_q軸電流 i_d 、 i_q を演算する座標変換部84と、電流偏差($i_d^*-i_d$)、($i_q^*-i_q$)をPI補償すると共に、干渉項と Ψ_a による逆起電力を補償し電圧指令ベクトル(v_d^* 、 v_q^*)を演算出力する非干渉電流制御部86と、電圧余裕の少ない弱め界磁運転領域で発生する飽和電圧ベクトル指令値を補正する電圧ベクトル補正部88と、d_q座標電圧からuvw座標電圧へ変換する座標変換部90とで構成され、速度制御部60、電流制御部80、トルク制御部100は一般にデジタルシグナルプロセッサー(DSP)のソフトウェア処理でその動作が実行されるようになっている。

【0007】かかる構成において、その動作を次に説明する。先ず、運転パターン発生部50に記憶する加減速運転パターン及び締付／ゆるめトルクパターンに関して説明する。ここで、ねじ締め分野で一般的に使用されている「トルク勾配法」に基づくねじ締め方法を説明すると、これはねじ締付け過程中におけるナットの一定微小回転角当りの締付けトルクの増分(トルク勾配)を制御手段により計算してボルトねじ部の降伏現象を検出し、ボルト軸力が降伏域に入ったところでナット回転を停止するという締付け方法である。図4(a)はナット回転角 θ に対する締付けトルク T_f の変化曲線、図4(b)はこの曲線の勾配 $\Delta T_f / \Delta \theta$ の θ に対する変化を描いたもので、締付けの初期段階で $\Delta T_f / \Delta \theta$ が増大している範囲がいわゆる「スナグ域」、ほぼ一定に保たれている範囲が弾性域、一定値から減少に転じるところでボルトが降伏し、そこから先が降伏域となる。制御手段で θ が $\Delta \theta$ 経過する毎に $\Delta T_f / \Delta \theta$ の値を演算し、この値が($\Delta T_f / \Delta \theta$)maxの例えれば1/2になった θ 位置でナット回転を停止することで、トルク勾配法による塑性域締付けがなされる。次に「ナット回転角法」に基づいたねじ締め方法を説明すると、これはボルト・ナット間の相対的回転角を指標として締付け軸力を管理する方法で、塑性域締付けのナット回転角法はナット回転角そのものが大きく、この間のボルト軸力の変化が少ないので、締付けの際与えたナット回転角に誤差があってもそれが締付け軸力のばらつきに及ぼす影響が小さく、

かつ、最大の締付け軸力を発生することができるねじ締め方法である。ナット回転角法では同じ仕様のボルトであっても、生産ロットが違えば降伏軸力、極大軸力等が異なるので、生産ロット毎に予備試験を行って使用するボルト、ナット及び座金の組について回転角 θ -軸力F_s線図を求め、この線図からナット回転の開始点を与える「スナグトルク値T_s」及びナット回転の停止点を与える「ナット回転角の目標値 θ_N 」を演算する。別途実験装置によりナット回転角 θ を横軸、締付け軸力F_sを縦軸としてこれらの測定値をプロットすると図5のような「OSYUT」なる線図が得られる。ここで、Oは座標の原点、Yは降伏点、Uは極大点、Tはボルトの破断点である。点Sは立ち上がりの曲線が直線へ移行する点で「スナグ点」と呼ばれる。スナグ点Sの前後では θ を小刻みに変化させ、点Sの位置を精度良く求める。点Cは、直線SYの延長線と、点Uを通る横軸に平行な直線との交点である。ボルト・ナット系の弾性伸び及び被締付け部材の弾性縮みは塑性域においても存在し、両者の弾性変形に基づくナットの回転角は、点Cの横座標 θ_C と点Yの横座標 θ_Y との差($\theta_C - \theta_Y$)として与えられる。また、点Yから点Uまでの間に生ずるボルト・ナット系の塑性伸びに基づくナット回転角は、点Uの横座標 θ_U と点Cの横座標 θ_C との差($\theta_U - \theta_C$)に等しく、被締付け部材の違いに影響されない。ところで、ナット回転角締付けの場合、ナット回転の開始点は、スナグ点における軸力F_sに対応するナット回転角位置とするのが精度が良いが、現場では毎回軸力の測定はできないので、締付け軸力がF_sとなる締付けトルクの値を予め実験機で測定しておき、スナグトルク値T_sとする。ナット回転角の目標値 θ_N はナット回転角のばらつきが締付け軸力に及ぼす影響が最小になるという意味では、極大点Uの横座標値 θ_U が良い。しかしながらボルトの破断の前兆である「くびれ」が極大点Uの直後から始まるので、締付け早々にくびれが発生することは避けると共に、現場における作業能率を考慮すればナット回転角はなるべく小さい方が好ましい。そこで、一例として、降伏点Yの横座標 θ_Y と極大点Uの横座標 θ_U との平均値、

$$【数9】\theta_N = (\theta_Y + \theta_U) / 2$$

をナット回転角の目標値 θ_N とする。かかる回転角 θ -トルク指令t_r*パターンを予め締付けトルクパターン部56に実験データに基づいて記憶しておく。

【0008】しかし、ねじ締め工程を時間軸に沿って眺めると、図6に示すようにナット装着期間T_aと、アイドリング加速期間T_bと、着座迄の減速期間T_cと、締付け期間T_dとの4つの期間に大別される。先ず、ナット装着期間T_aではモータは動かないで、速度優先又はトルク優先のどちらで運転しても良い。次のアイドリング加速期間T_bでは初期速度0からスタートしてできるだけ短い期間で最高回転速度まで加速するのが作業

能率の観点から好ましい。かかる運転状態では速度優先制御モードにおいてモータを制御するのが好ましく、後述するようにモータの出力可能な最大トルクでモータを加速し始め、モータの逆起電力が端子電圧をオーバーする手前からいわゆる等価弱め界磁制御により更にモータの回転数を上げて目標の回転速度まで加速することが好ましく、かかる運転パターンをアイドリング加速パターン部52に記憶する(図7(a))。続いて減速期間T_cでは不必要に過大なトルクがねじ部にかかるないように降伏トルク以内のトルク絶対値でかつトルク制御精度は降伏トルク以内であれば厳密な管理は不要なので速度優先制御が好ましく、所定のトルク値以内ですみやかにモータの回転を停止させる運転パターンを減速パターン部54に記憶する(図7(b))。最後の締付け期間T_dではトルク制御精度優先制御を行ない、ナット回転角法に基づく締付けでは所定の締付けトルクパターンに応答して予め指定された回転角 θ_N だけナット等を回転させる運転パターンを締付けトルクパターン部56に記憶する(図7(c))。また、ねじ等をゆるめる場合にはトルク優先制御を行ない、ゆるめトルクの運転パターンをゆるめトルクパターン部58に記憶する(図7(d))。尚、図7(c)及び(d)のトルク優先制御モードでは、記憶(登録)する運転パターンはトルク/位置パターンで、ねじ締めやねじのゆるめ作業ではこのトルク/位置パターンでモータを制御する方法が基本になっており、一般的のサーボモータの運転パターンとは大きく異なる所である。又、上述のような運転パターンやモータ固有のパラメータ(機械時定数、電気時定数、最大トルク等)は予め実験機等により求めておき、パソコン20及び通信回線を介してそれぞれ所定の記憶手段に登録すると効率的である。

【0009】かくして運転パターン発生部50への運転パターンの登録及びモータパラメータの登録が終了すると、現場でのねじ締め作業が可能になり、ねじ締め作業の動作例を以下に詳しく説明する。先ず、図6(a)のナット装着期間T_{a1}、T_{a2}…では図示しないナット搬送機構によりスパンナ2にナット1が搬送され装着される。この間モータは動かないが、次の加速期間の準備としてこの停止期間中に運転制御部42よりスイッチ手段78に切換信号t_{vc}を出し、電流制御部80への電流指令値の入力系をトルク制御部100から速度制御部60に切換えて速度優先制御が実行できるようにしておくことが好ましい。次のアイドリング加速期間T_{b1}、T_{b2}…では、速度優先制御モードでアイドリング加速パターン部52に記憶されたトルク/速度運転パターンに従って初期速度0から高回転速度までできるだけ短期間でモータを加速運転する。この加速期間における速度制御部60及び電流制御部80の動作を図3、図7(a)のトルク/速度パターン及び図8、図9のフローチャートに従って説明すると、ナット1の慣性モーメン

トはPMモータ6の慣性モーメントと比較すると、ほとんど無視できるので、モータの出力できる最大トルクでモータ6を加速する。すなわち、スイッチ手段78を速度制御部60側に切替え、速度優先制御モードに入り（ステップS2）、加速モードであるので（ステップS4）、アイドリング加速パターン部52から $\omega_r = 0$ でのトルク指令値 $t_r *$ に対応した電流指令値 $i_q *$ を読出す（ステップ6）。又、加速初期では $\omega_r < \omega_o$ （無

$$\begin{aligned} v_d * &= G_c d(s) \cdot (i_d * - i_d) + v_d 0 \\ v_q * &= G_c q(s) \cdot (i_q * - i_q) + v_q 0 \end{aligned} \quad \cdots (10)$$

但し、 $G_c d(s)$ 、 $G_c q(s)$ はPI補償器である。その後、電圧ベクトル補正部88を介して座標変換部90によりu、v、w相電圧に変換し、ドライバ92、インバータ18を介してモータ6を駆動する。かかる最大加速トルク（又は最大電流指令）によるモータの加速制御は速度が $\omega_r < \omega_o$ の期間継続する。しかし、 $\omega = \omega_o$ の近くまでモータ6が加速されると、逆誘起電圧が端子電圧まで上昇し $i_d * = 0$ では ω_o 以上の速度に加速できない。そこで ω_o の少し手前の速度（ $\omega_o - \Delta\omega$ ）から（ステップS8）、d軸電流指令演算部72において永久磁石の見かけ上の界磁を減少させるため負のd軸電流*i_d **を流し、逆誘起電圧を低下させる。尚、d軸電流指令値*i_d **は上述の数8に基づいて演算される（ステップS12）。又、少ないd軸電流で大きな弱め界磁効果を引出すためには図10に示すように回転子の表面に永久磁石を配置し、ステンレス又は珪素鋼板等の電磁鋼板を回転軸方向に積層した磁性リングを永久磁石の外周表面に配置した構造のPMモータを使用すると、次のような効果が期待できる。すなわち、磁性リングと回転子鉄心間に磁気回路が形成され、電機子反作用磁界が大となる。従って、少ないd軸電流で大きな弱め界磁が可能となる。また、永久磁石と電機子間に磁性材があるため永久磁石にかかる負のd軸電流による電機子反作用の減磁界は少となる。更に、磁性リングはバイパス磁路となり、回転子鉄心と閉じた磁気回路を形成する。従って弱め界磁の減磁状態においても、永久磁石のバーミアンス係数は大となり、磁気的に安定した状態が得られる。特に図10のような構造のロータは高エネルギー積であると共に温度特性の悪いNd-Fe-B形永久磁石を使用したモータに効果的である。かくして50%の減磁率までd軸電流を流すと、 $2 \cdot \omega_o$ の速度迄増速することが可能となり、この場合、出力トルクは $1/2$ となる。また、75%の減磁率まで負のd軸電流を流すと、 $4 \cdot \omega_o$ の速度迄速度制御範囲を拡大することができる。

【0010】ナット装着期間にスパナ2にナット1が搬送され装着されると、ただちにこのアイドリング加速期間に移り、ナットがねじ部に嵌合し呼び込まれ、ナットが締結部に着座することになるが、このときトルクセンサ4の出力 t_s や、速度検出部62の出力 ω_r 、及び/

負荷誘起電圧が端子電圧に等しくなる速度）なので（ステップS8）、d軸電流指令値*i_d * = 0*として（ステップS10）、これらの電流指令*i_d **、*i_q **を電流制御部80に出力する（ステップS14）。続いて電流制御部80の非干渉電流制御部86では座標変換部84から出力される*i_d*、*i_q*値と指令値*i_d **、*i_q **との偏差を次式によりPI補償すると共に非干渉化する。

【数10】

又は座標変換部84の出力*i_q*が急激に変化する。そこで、出力 t_s 、 ω_r 、*i_q*のいずれか一つ又は複数の出力を組合せて運転状態判定部44に入力し、その微分波形等を適当な判定レベルで閾値処理すると、ナット1が着座しはじめたか否か判定することができ、かかるボルトが着座しはじめた状態を検知すると運転パターン切替部51により運転パターン発生部50から出力するトルク／速度パターンを加速パターンから減速パターンに切替える。そこで、次に図6の減速期間 T_{c1} 、 T_{c2} …の動作を説明すると、この期間は速度優先制御モードで減速パターン部54に記憶されたトルク／速度運転パターンに従って、高回転速度から速度0まで、モータを減速させる。この減速期間における速度制御部60及び電流制御部80の動作を図7（b）のトルク／速度パターン及び図8、図9のフローチャートに従って説明すると、着座しはじめた直後は速度優先制御モードで（ステップS2）、減速モードであり（ステップS4）、弱め界磁制御中であるが、図7（b）の減速パターン部54から現在速度 ω_r でのトルク指令値 t_d に対応した電流指令値*i_q **を読出す（ステップS20）。次に、この電流指令値が所定の値*i_q t_h*（例えば降伏トルク t_b に対応した電流値）より小さいか否か判定し、値*i_q t_h*よりも小さければステップS12に移り、弱め界磁制御のためd軸電流指令値*i_d **を演算し（ステップS12）、非干渉電流制御部86へ出力する（ステップS14）。また、現在速度 ω_r での電流指令値が値*i_q t_h*より大きくなるような低速の速度領域では加速期間と同一の電流指令値では過大な締付けトルクが発生する可能性があるので（ステップS22）、電流指令値*i_q * = i_q t_h*、*i_d * = 0*として（ステップS24）、非干渉電流制御部86へ出力する（ステップS14）。以後、電流制御部80の動作は加速期間と同様である。

【0011】かくしてモータ6が停止すると、図6の締付け期間 T_{d1} 、 T_{d2} …に移り、この期間はトルク制御精度優先モードで制御を行うので、スイッチ手段78の入力をトルク制御部100側に切替え（ステップS2）、締付けトルクパターン部56に記憶されたトルク／位置運転パターンに従って所定の回転角度又はトルク勾配値までねじ締めを行う。この締付け期間におけるトルク制御部100及び電流制御部80の動作を図7

(c) のトルク／位置パターン及び図8、図9のフローチャートに従って説明すると、ナットが着座してモータが停止した後の締め付け期間はトルク制御精度優先モードで制御が行われ（ステップS2）、締付け動作では（ステップS30）、図7(c)の締付けトルクパターン部56から現在位置 θ_r での締付トルク指令値 t_f に対応した電流指令値 i_{q*} を演算又は読出す（ステップS32）。次に、ナットが所定の位置 θ_N まで回転したか否か判定し（ステップS34）、 $\theta_r < \theta_N$ の場合には、電流指令値 $i_d* = 0$ 、 $i_{q*} = i_{q*} + \Delta i_{q_f}$ として、少し出力トルクを増加させ（ステップS36）、非干渉電流制御部86へ出力する（ステップS14）。以後、電流制御部80の動作は加速期間と同様である。次に、出力トルクが増加すると、ナット2が微小角回転するので、位置（電気角）検出部82によりこの微小回転角を検出し、締付けを開始した位置を $\theta_r = 0$ として $\theta_r = \theta_N$ の位置まで少しずつ締付けトルクを増加させるねじ締め動作を行う（ステップS34及びS38）。また、目標位置 θ_N に達した時点で出力しているトルク指令値 t_r* 又は回転角 θ_r を通信部41を介して外部の図示しない管理コンピュータ等に転送すると、ねじ締め作業の対象となったボルトナットの組1つ1つに対してその締付トルク値を管理することができ、現場の作業者による組立作業の品質を数値データで管理することができる。かくしてねじ締め工程の1サイクルが終了すると、上述のナット装着、加速、減速及び締付け処理を再び必要な回数繰り返すようになる。

【0012】図1に対応させて示す図11はこの発明の別の一実施例を示したものであり、それぞれ同一の番号を付した装置は同一の機能を果たすと共に、ねじ締め部10aからトルクセンサ4を削除し、装置の小型軽量化を計ったものである。また、電源部14aは低圧50V以内の整流器16a又はバッテリー16bで構成され、速度制御部の600の内部には、速度制御部60a及びトルク制御部100aが設けられ、速度優先制御モード及びトルク優先制御モードに応じて適宜切換えられるようになっている。更にまた、制御手段40aの内部には、外部に設けられたトルク計測装置400と結合して、モータ6の出力トルクを計測し校正するトルク校正部500が設けられ、永久磁石の温度変化を温度センサ9及び温度計測手段800により入力し温度補正処理したり、磁石の経時変化をトルクセンサ4により計測して出力トルクの変動を自動補正するようになっている。また、図2に対応させて示す図12には、この発明の制御手段40aの構成を更に詳細に示したブロック図であり、それぞれ同一の番号を付した装置はそれぞれ同一の機能を果たすと共に、トルク制御部100aにはトルク校正部200及び補正パラメータメモリ202が設けられ、トルク指令 t_r* 及びその出力トルクを外部のトルク計測装置に内蔵されたトルクセンサ4で計測して入力し、トル

ク校正部500により温度変化補正パラメータ及び経時変化補正パラメータを演算処理してメモリ202に格納し、ねじ締め部10aにトルクセンサが装着されていなくても高精度の締付けトルクを出力できるようにしたものである。

【0013】かかる構成において、その動作を図13、図14のフローチャート及び図15のトルク補正図を参照して説明すると、先づ、運転モードには校正運転モードと自動運転モードとが有り、最初に校正運転モードに設定して、永久磁石の経時変化に基づくトルク補正データの計測及び/又は永久磁石の温度変化に基づくトルク補正データを計測/収集する（ステップS80）。この校正運転モードでは、外部のトルク計測装置400に設けられたトルクセンサ4にスパン2を結合させ、ねじ締め部10aのモータ6の出力トルクをトルク校正部500に入力すると共に、モータ6の温度を温度センサ9及び温度計測手段800を介してトルク校正部500及びトルク補正部200に入力するようになっている。しかしてトルク校正部500制御に基づいて、速度制御部600はトルク制御部100a側に切換えられ、トルク優先制御を行うと共に、トルク校正部500から運転パターン発生部50に対し、図15(a)に示すようなトルク換算した q 軸電流指令が格納されているトルク校正パターン部57に運転指令が順次出力され、各電流指令値に対するモータの出力トルクの絶対値がトルクセンサ4を介して順次トルク校正部500に入力される（図15(a)及びステップS82～S86）。通常、永久磁石モータでは、永久磁石の経時変化に基づく減磁傾向は数%の範囲内であるので、トルク保証条件である図15(a)の定格直線cを上回り電流-トルク特性が存在するように着磁されている。そこで、着磁直後では、同図の曲線aのように定格直線cより少し大きめにトルク特性が乖離し、年月が経過すると曲線bのように定格直線cに接近して来る。そこで、例えば、所定の間隔で電流指令 i_{q*} を種々の値に変化させて出力し（ステップS82）、その時点でのトルク絶対値 t_r をトルクセンサ4を介して入力し、図15(a)のような電流-トルク特性曲線を作成する（S84, S86）。また、永久磁石の温度特性を計測する場合には、ねじ締め部10aを図示しない恒温槽等に入れ、温度Sを一定に保った状態でトルク指令（又は等価 q 軸電流指令）を順次変化させ、種々の温度Sでのトルク指令値と実際の出力トルク値とを図15(b)のように所定のメモリに記憶する（ステップS82～86）。

【0014】かくして、永久磁石の経時変化に基づくトルクデータの収集及び/又は永久磁石の温度変化に基づくトルクデータの収集が終了すると、経時変化用トルク補正パラメータの演算処理及び温度変化用トルク補正パラメータの演算処理を行う（ステップS88, S90）。先づ、経時変化用トルク補正パラメータの演算処

理では、図15(a)に示すような電流-トルク特性曲線が直線近似可能であれば、

トルク(t) = $k_t \cdot$ 電流指令(i_q*) + Δk_t
による直線近似用係数 k_t , Δk_t を最小2乗法等の演算により求めて良い。また、電流-トルク特性曲線に規則性がなければ複数回実行した、計測データの平均値等をそのままテーブル形式で補正パラメータメモリ202に登録しても良い。他方、温度変化用トルク補正パラメータの演算処理では、図15(b)に示すような温度-トルク特性曲線が直線近似可能であれば、

実際のトルク(t) = トルク指令(t_r*) + ($k_s \cdot (273+s) / (273+S_0) + \Delta k_s$)

但し S_0 は基準温度で例えば 15°C である。による直線近似用係数 k_s , Δk_s を最小2乗法等の演算により求めて良い。トルク特性曲線に規則性がなければ、複数回実行した計測データの平均値等をそのままテーブル形式で補正パラメータメモリ202に登録しても良い。かくして、モータ6の校正運転動作は終了する。

【0015】次に、自動運転モードにおけるねじ締め作業又はねじ締め作業を説明すると(S80, S92), ねじ締め作業の全体の工程は図6に示すように前回と同様であり、ナット装着期間、アイドリング加速期間及び減速期間では、トルク制御の精度は厳密でなくとも良く、速度優先制御モードなので、前回と同様の図9のフローチャートが、そのまま適用可能である。また、自動運転におけるトルク優先制御モード(S94)での締付け作業では(S96)、先づ、永久磁石の経時変化補正を行う否か判定し、経時変化補正を行う場合には(S98)、ナットの回転角 θ_r 等を入力すると共に、締付けトルクパターン図7(c)等から、現在の回転角 θ_r に対する締付けトルク t_{r1*} を演算する。続いて、このトルク t_{r1*} に対する電流指令 i_g* を補正パラメータメモリ202を参照して演算する(S100)。図15(a)の例では、着磁直後の磁石では電流指令は i_g1a* であるが、時間が経過すると共に、電流指令は i_g1b* のように増加する傾向にある。かくして、経時変化補正後のトルク指令 t_{r1c*} が演算できると、次に、温度補正を行うか否か判定する(S102)。そして、温度補正を行う場合には、温度センサ9を介してモータ6の現在の温度 S を入力すると共に、トルク指令 t_{r1c*} に対し、次のような温度補正演算を実行する。温度-トルク特性曲線が直線近似可能であれば、次式によりトルク指令 t_{r1cs*} を演算する。

補正後トルク $t_{r1cs*} = t_{r1c*} / (k_s \cdot (273+s) / (273+S_0) + \Delta k_s)$

また、温度-トルク特性曲線に規則性がなければ、補正パラメータメモリ202に格納された温度-トルク特性テーブルより、現在の温度 s に対するトルク低下量 Δt (t_{r1c*}, s) を求め、このトルク低下量 Δt (t_{r1c*}, s) を加算して、温度補正後のトルク指令 t

$t_{r1cs*} = t_{r1c*} + \Delta t$ (t_{r1c*}, s) とする。かくして補正後のトルク指令 t_{r1cs*} が演算できると、d軸電流指令 $i_d* = 0$ として、q軸電流指令 i_g* は

$$i_g* = t_{r1cs} / KT$$

から演算できる(S104)

そして、ナット等の回転角 θ_r が目標値 θ_N に達しない場合(S106), $i_d* = 0$, $i_g* = i_g* + \Delta i_gf$ として(S108)、電流指令 i_g* , i_g* を電流制御部80の非干渉電流制御部86へ出力する(S112)。通常、永久磁石式同期モータでは経時変化に基づいてトルク変動が数%存在し、また、Nd-Fe-B系磁石では温度変化に基づくトルク変動も数%存在する。従って、上述のステップS100及びS104の補正演算を実施することにより、モータ6の出力トルク変動を1~2%以内に納めることができとなり、高精度のトルク管理が可能となる。かかるステップS92~S112のねじ締め処理を所望の回転角 θ_N まで繰り返し実行すると、締付け期間 T_d のねじ締め動作を終了する。

【0016】

【発明の効果】以上詳述したように、この発明のモータ制御方法及び装置によれば、速度制御精度とトルク制御精度とを明確に区別してそれぞれ制御しているので、短時間でモータの加減速ができると共に、制御対象に過大な負荷トルクをかけることなくモータの運転を制御することができる。又、電子的等価弱め界磁制御を行うことによりモータの電源供給がバッテリー又は電圧50V以下の電源のような低電圧電源であっても永久磁石式同期モータの速度制御範囲を2~8倍に拡大することができる。更に、この発明のねじ締め方法及び装置によれば組立ライン等の作業でAC200V系の交流動力系を使用することなく、DC50V以下の低電圧でモータを駆動しても必要なモータ回転速度及びトルクを出力でき、組立作業の安全性を著しく向上させることができる。また、ねじ締めたボルト・ナットの全てに対してそれぞれ個別に締付けトルクを管理できるので、製品の組立品質を数値データとして管理することが可能となる。更にまた、增速機構、トルクセンサ等が不要なねじ締め装置を実現できるので、10kg以内の軽量小型ねじ締め装置により高速回転及び高締付けトルクを出力でき、ねじ締め作業が効率化できる利点がある。更に、永久磁石の経時変化/温度変化に対する補正演算を付加することにより、永久磁石のトルク精度を1~2%以内に高めることが可能となり、高精度かつトルクセンサ不要で小型・軽量のねじ締め装置を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の全体の一構成例を示すブロック図である。

【図2】この発明のモータ制御部の一構成例を示すブロック図である。

【図3】モータの運転パターンを説明する図である。

【図4】トルク勾配法によるねじ締めの原理を示す図である。

【図5】ナット回転角法によるねじ締めの原理を示す図である。

【図6】ねじ締めサイクルを説明するタイムチャートの一例である。

【図7】記憶するモータ運転パターンの一例である。

【図8】電流ベクトルのトルク優先制御の演算過程を示すフローチャートの一例である。

【図9】電流ベクトルの速度優先制御の演算過程を示すフローチャートの一例である。

【図10】磁性リングを装着したロータ断面の一例である。

【図11】この発明の、トルク補正付ねじ締め装置の全体の構成を示すブロック図である。

【図12】そのモータ制御部の一構成例を示すブロック図である。

【図13】トルク校正運転のフローチャートの一例である。

【図14】トルク補正付ねじ締め運転のフローチャートの一例である。

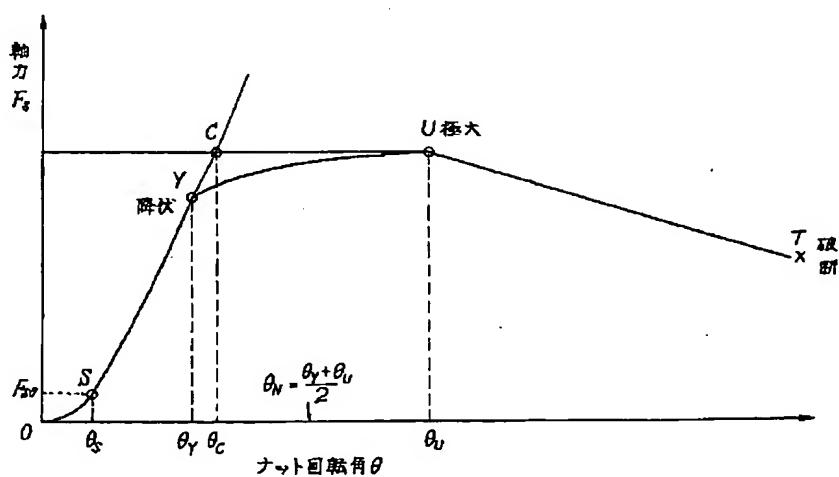
【図15】磁石の経時変化特性及び温度変化特性の一例である。

【符号の説明】

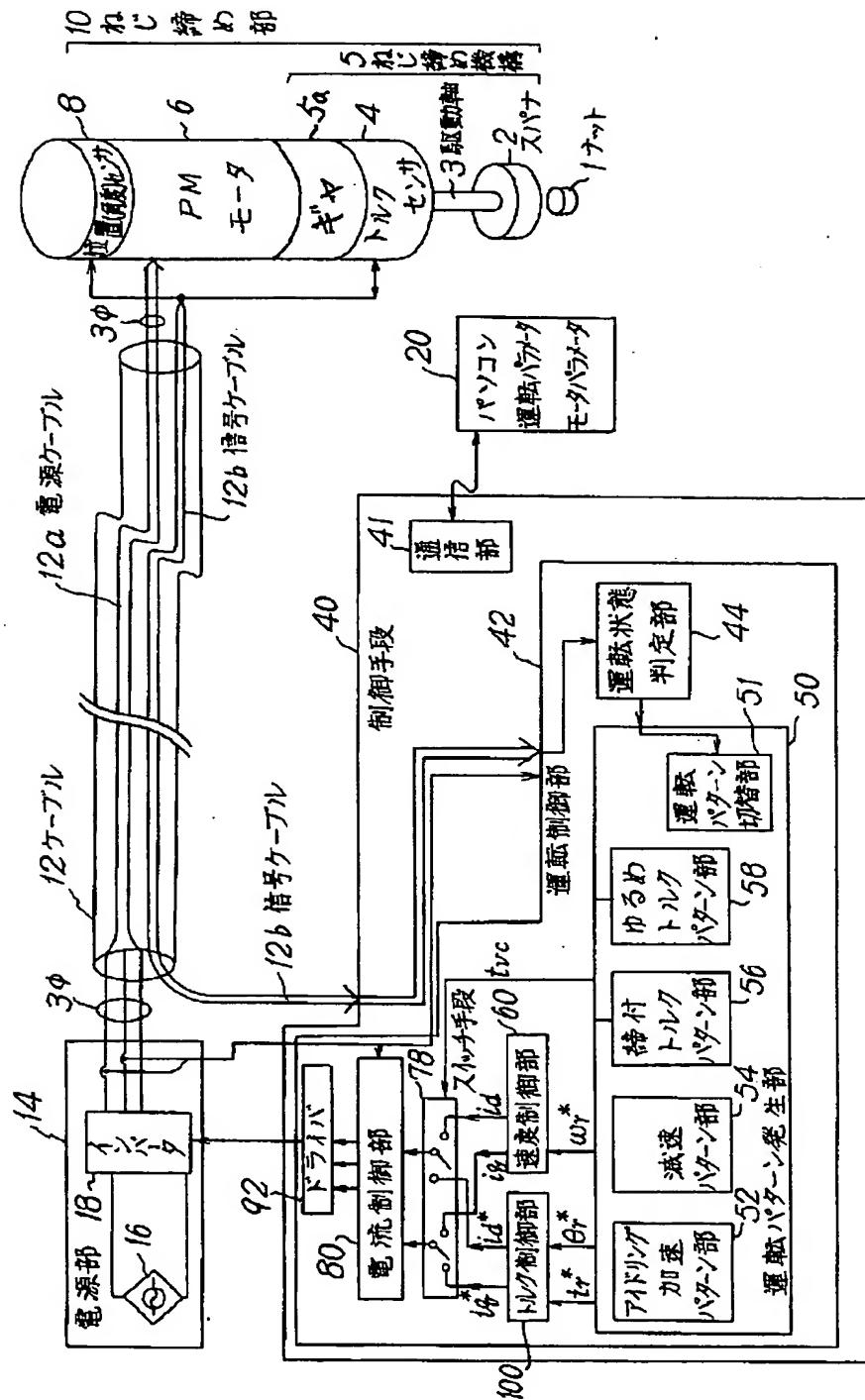
- 1 ナット
- 2 スパナ
- 4 トルクセンサ
- 6 モータ
- 8 位置（角度）センサ
- 9 温度センサ

1 0	ねじ締め部
1 2	ケーブル
1 4	電源部
1 8	インバータ
2 0	パソコン
4 0	制御手段
4 1	通信部
4 2	運動制御部
4 4	運動状態判定部
5 0	運動パターン発生部
5 2、5 4、5 6、5 7、5 8	運動パターン記憶部
6 0 0、6 0、6 0 a	速度制御部
6 2	速度検出部
6 4、1 0 4	加減算器
6 6、1 0 6	補償器
6 8、1 0 8	リミッタ
7 0	界磁制御部
7 2	d軸電流指令演算部
7 4	磁気飽和補正部
7 8	スイッチ手段
8 0	電流制御部
8 2	位置（電気角）検出部
8 4、9 0	座標変換部
9 2	ドライバ
1 0 0、1 0 0 a	トルク制御部
2 0 0	トルク補正部
2 0 2	補正パラメータメモリ
4 0 0	トルク計測装置
5 0 0	トルク校正部
8 0 0	温度計測手段

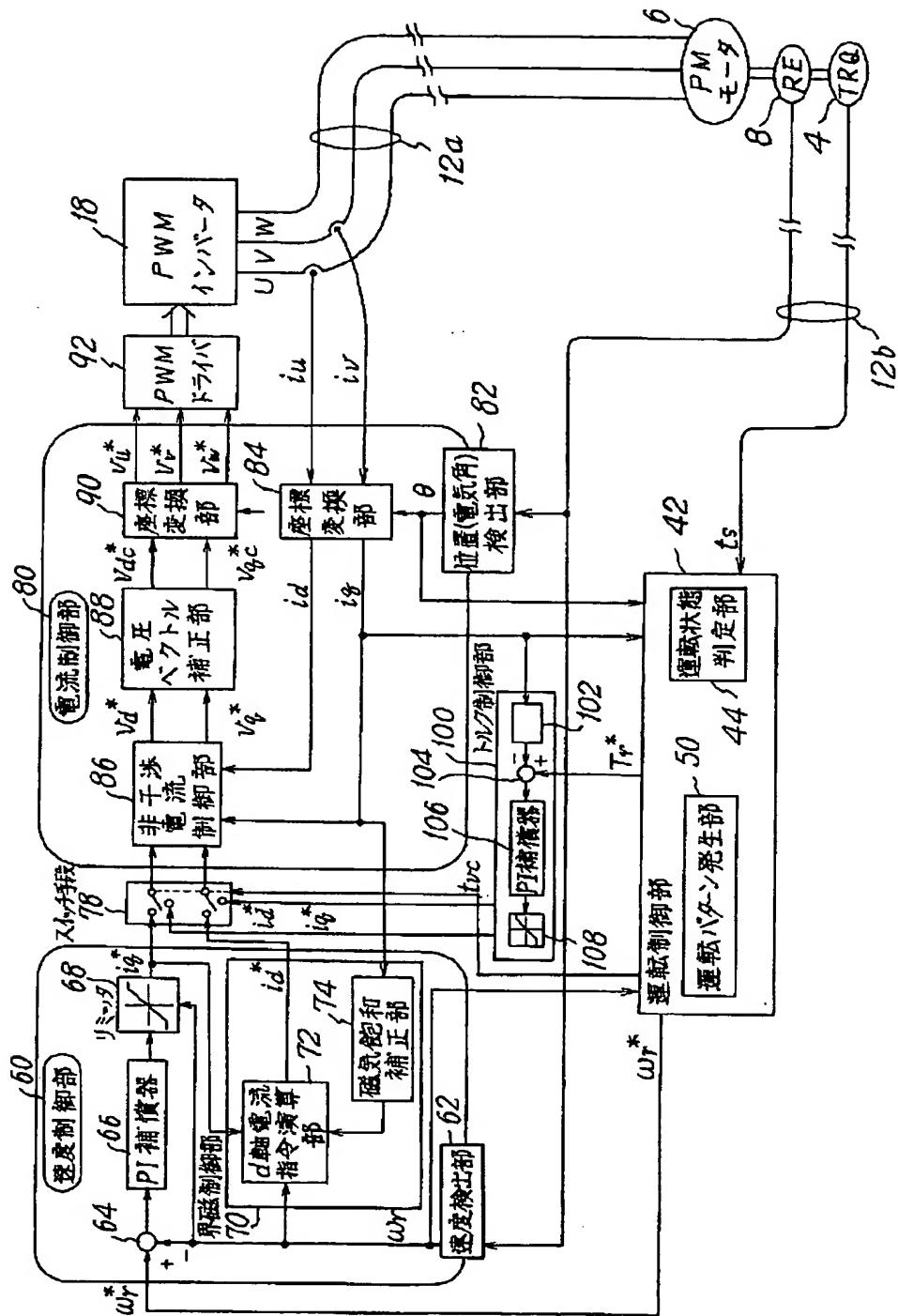
【図5】



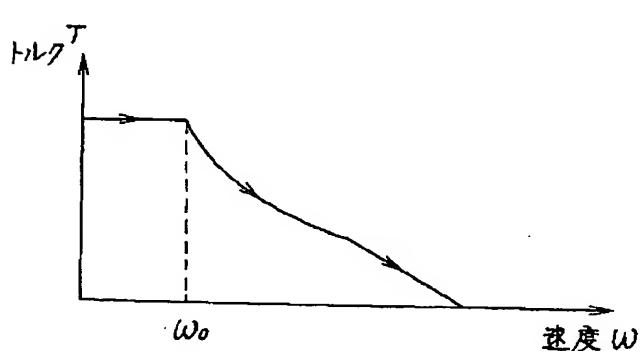
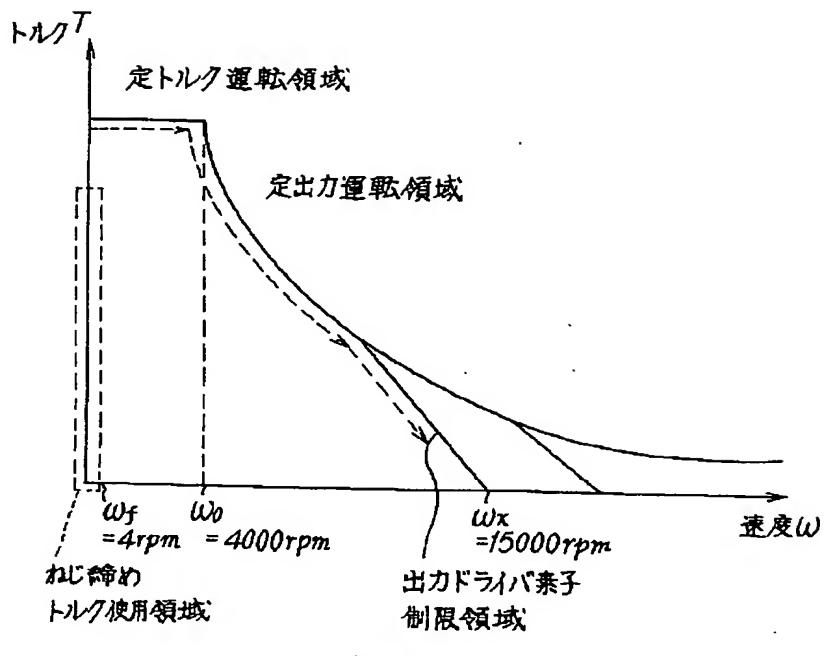
【図1】



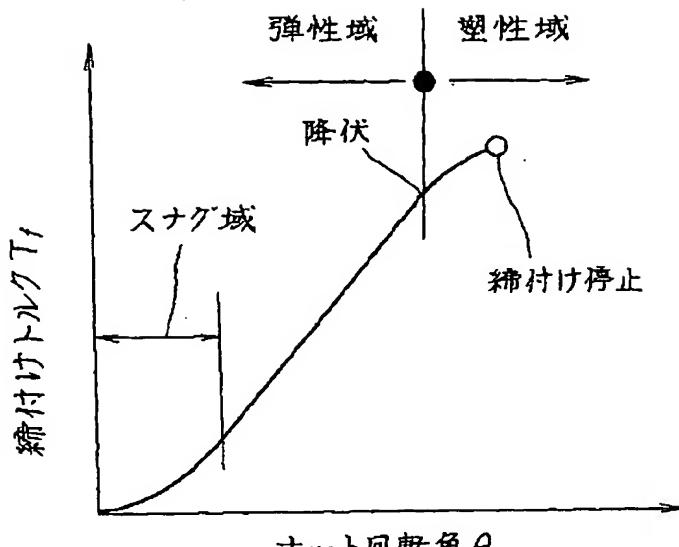
【図2】



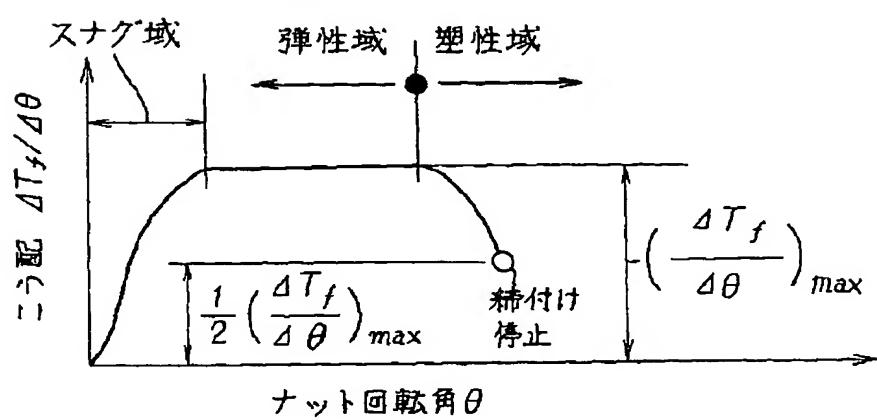
【図3】



【図4】

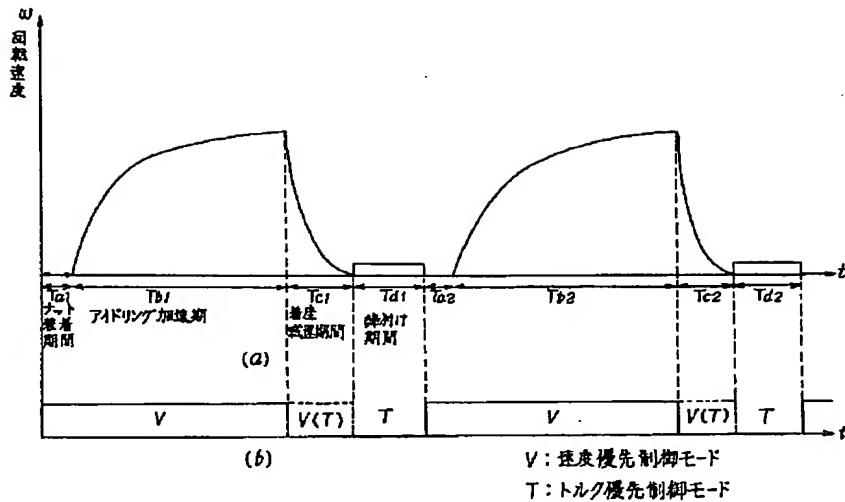


(a)

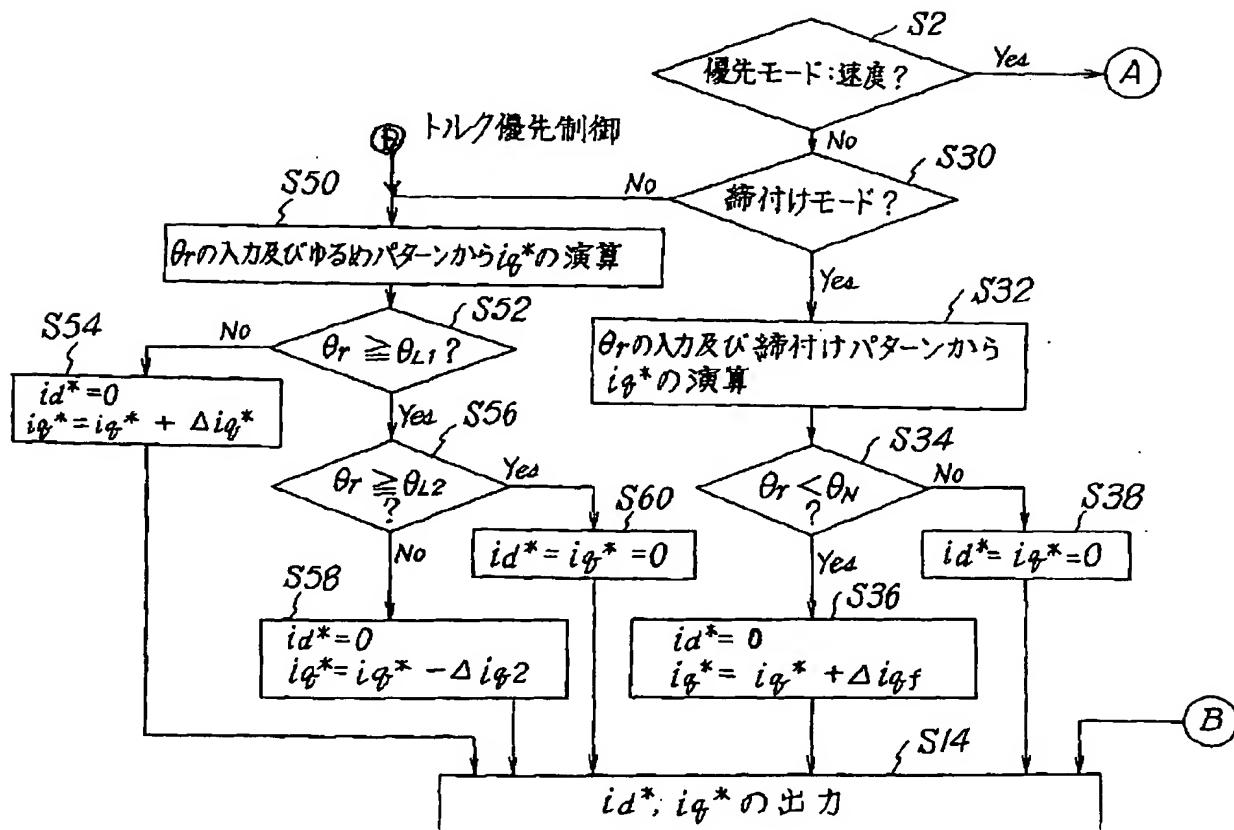


(b)

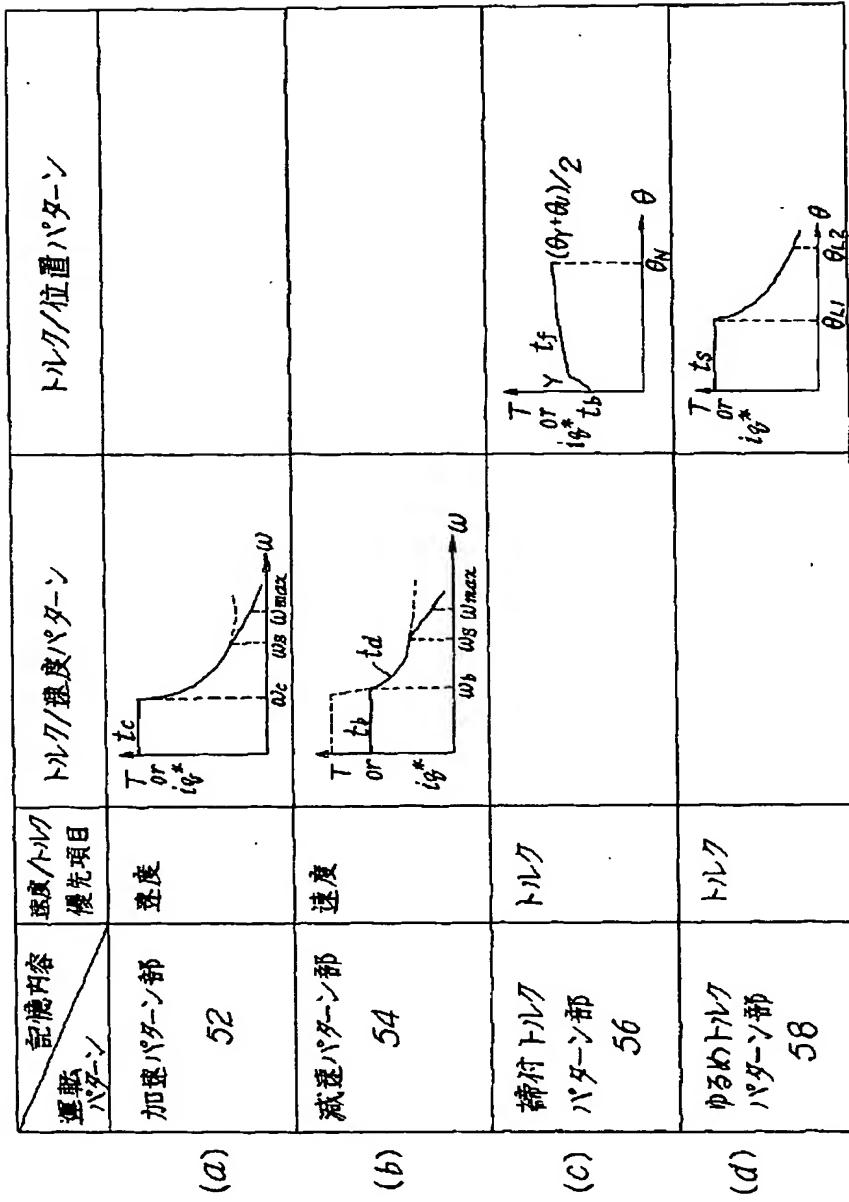
【図6】



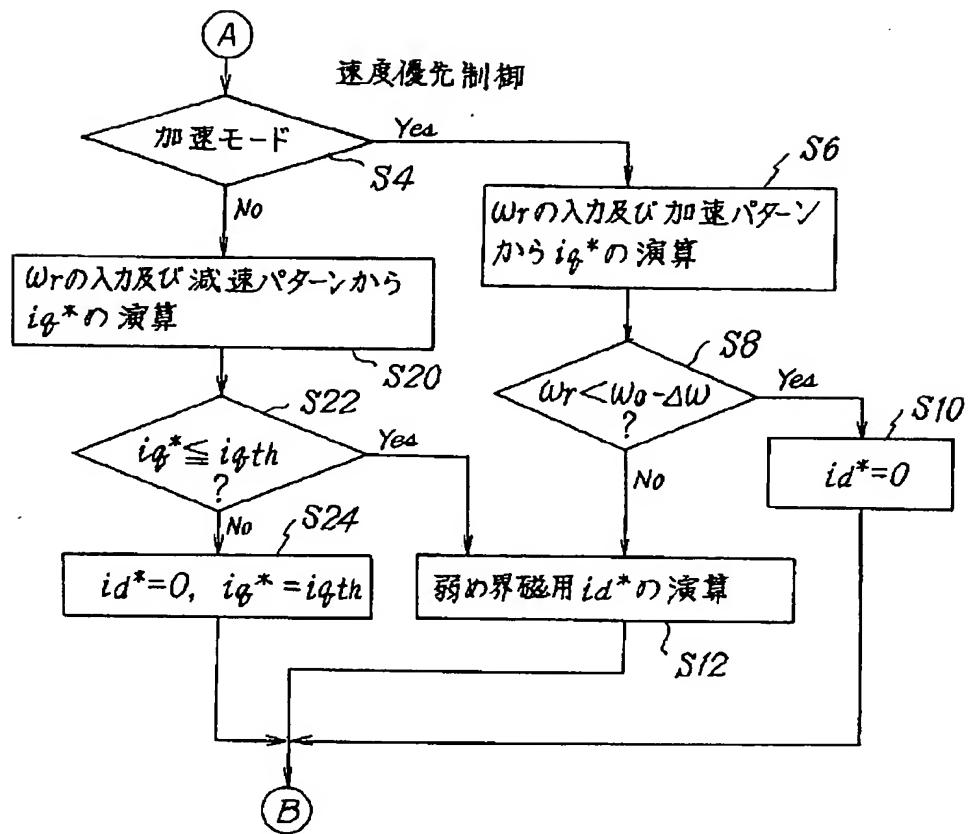
【図8】



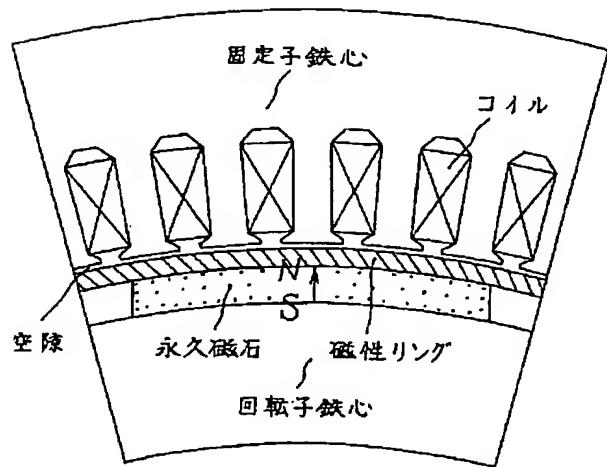
【図7】



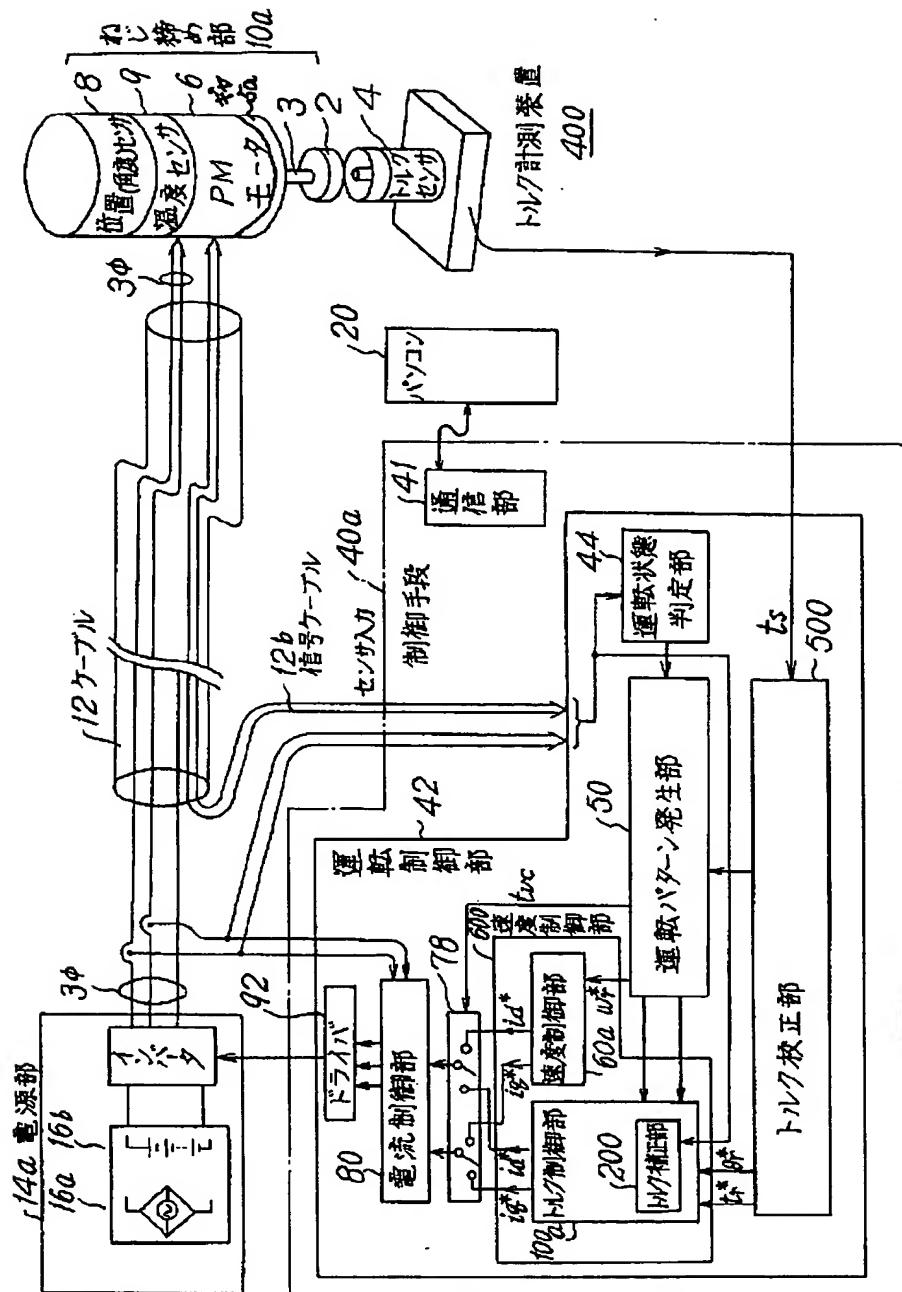
【図9】



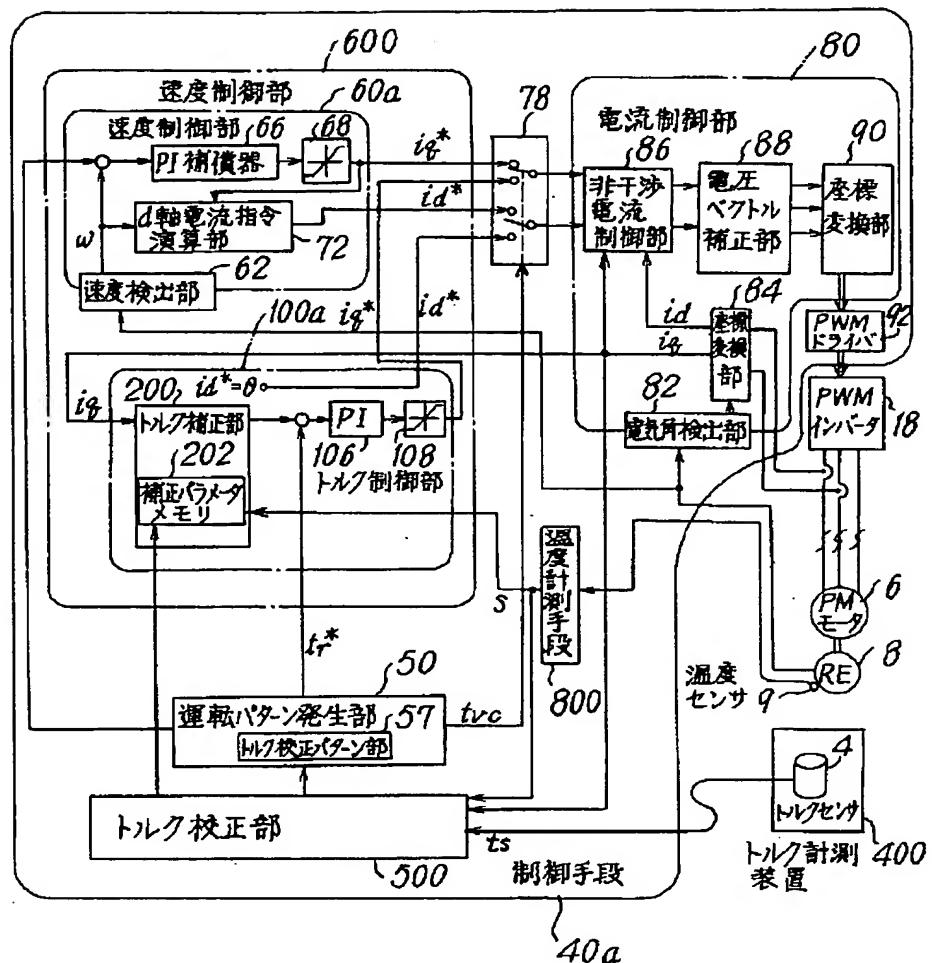
【図10】



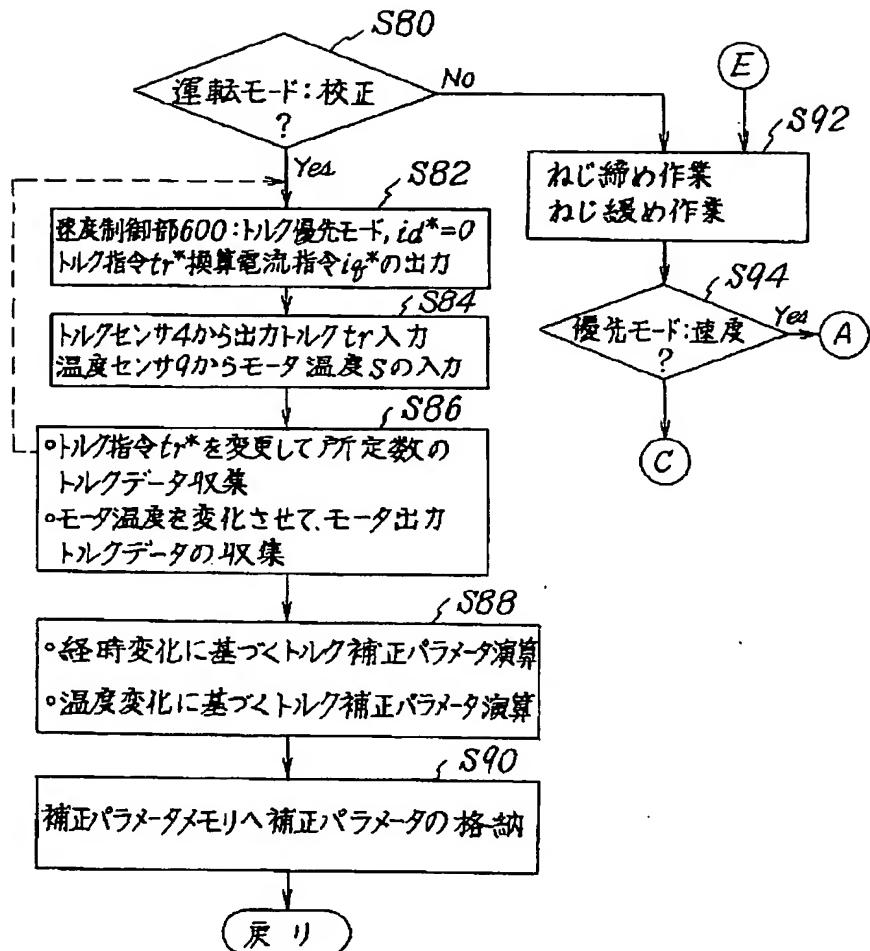
【図11】



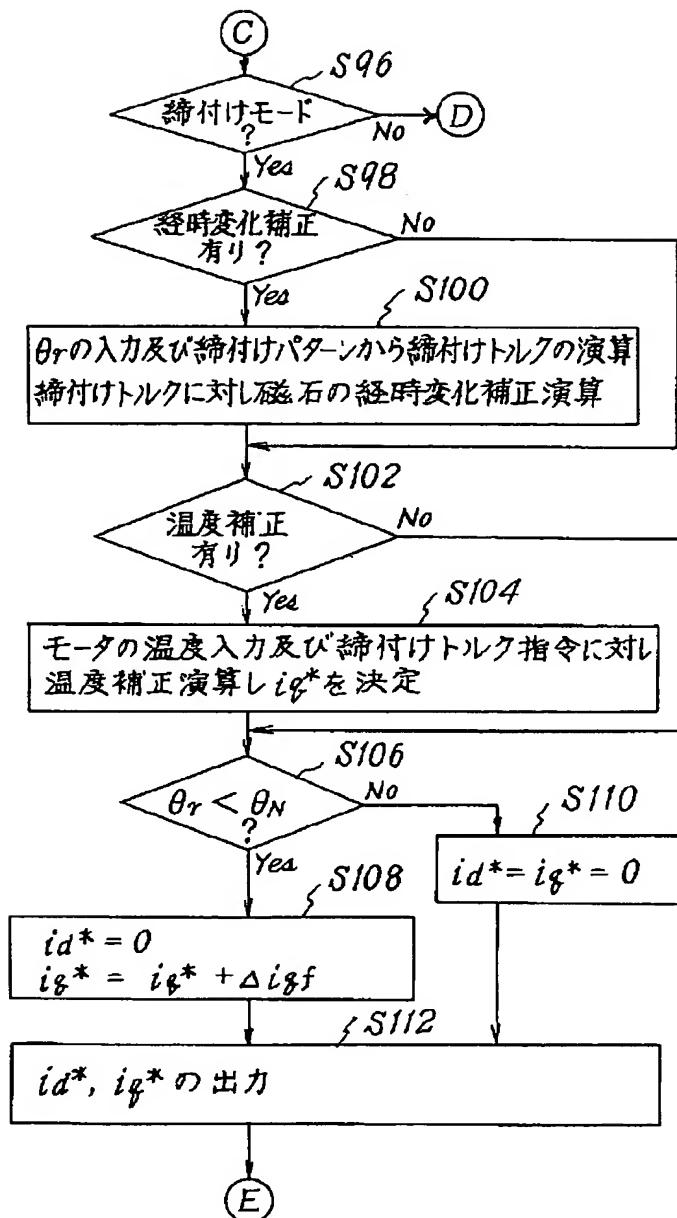
【図12】



【図13】



【図14】



【図15】

